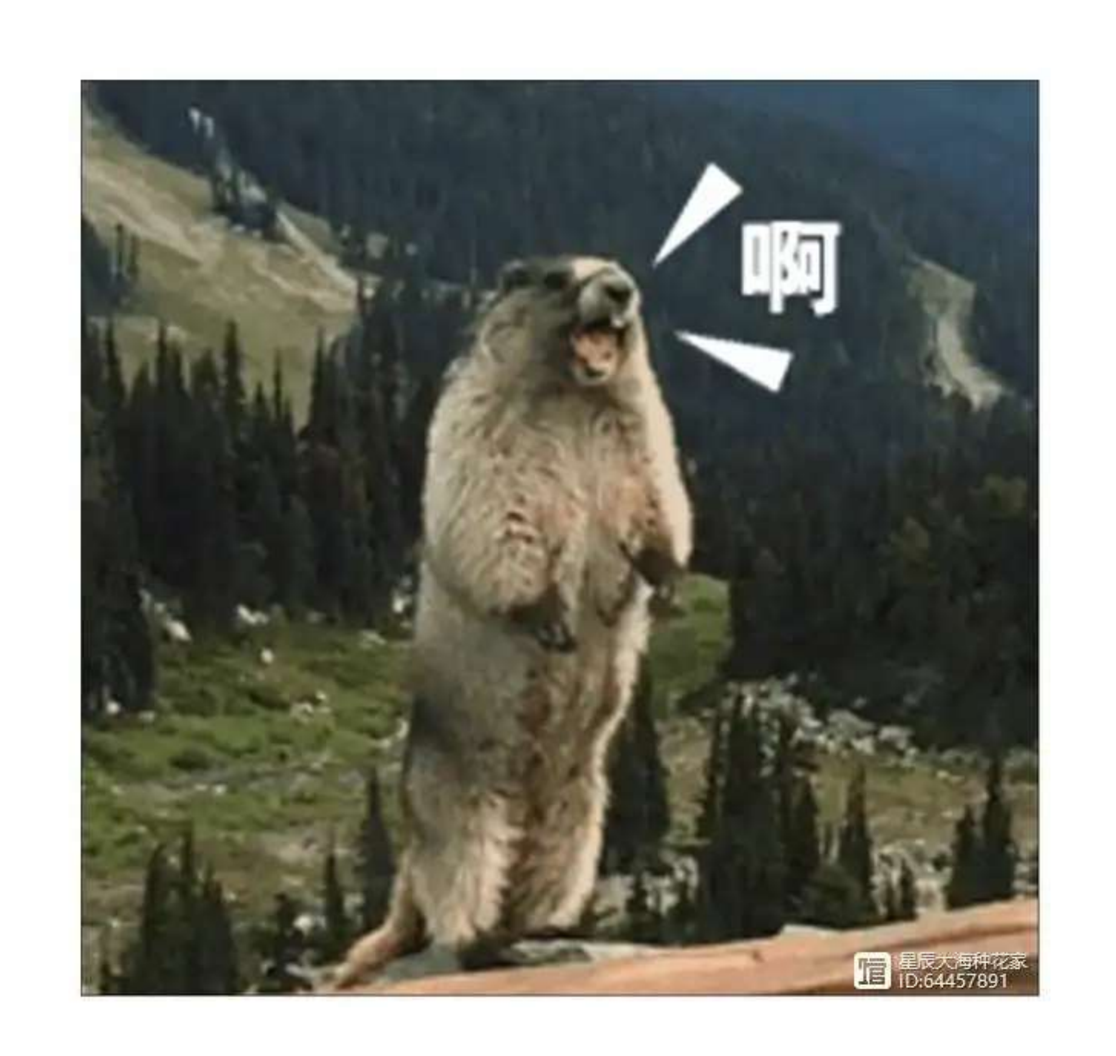
第4篇　遗传与进化





第七章 数量性状遗传

数量性状



玉米果穗的长短



小麦穗子长短



大豆植株的高矮

一、数量性状及其特征

质量性状：相对性状之间显示出质的差异。

在杂种后代的分离群体中，具有相对性状的个体可以明确分组，求出不同组之间的比例，比较容易地用分离规律、独立分配规律或连锁遗传规律来分析其遗传动态。





一、数量性状及其特征

数量性状有两个最显著的特征

（1）**连续变异。**

（2）**比质量性状更容易受环境条件的影响。**

数量性状表现的连续性体现在：

第一，每个基因型并不只表达为一个表现型而是影响一组表现型的表现，其结果模糊了不同基因型所决定的表现型之间的差异。

第二，许多位于不同基因座的等位基因都能使某一种被观察的表现型发生改变。

一、数量性状及其特征

数量性状有两个最显著的特征

（1）**连续变异。**

（2）比质量性状更容易受环境条件的影响。

数量性状表现的连续性体现在：

第一，每个基因型并不只表达为一个表现型而是影响一组表现型的表现，其结果模糊了不同基因型所决定的表现型之间的差异。

第二，许多位于不同基因座的等位基因都能使某一种被观察的表现型发生改变。

一、数量性状及其特征

数量性状有两个最显著的特征

数量性状表现的连续性体现在：

第一，数量性状是可以度量的。

第二，数量性状的变异表现为连续的，杂交后的分离世代不能明确分组。

第三，数量性状一般容易受环境条件的影响而发生变异。这种变异一般是不遗传的 。

第四，控制数量性状的遗传基础是多基因系统。

一、数量性状及其特征

质量性状与数量性状的比较

项　　目	质量性状	数量性状
性状主要类型	品种特征、外貌特征	生产、生长性状
遗传基础	少数主要基因控制，遗传关系较简单	微效多基因系统控制，遗传关系复杂
变异表现方式	间断型	连续型
考察方式	描　述	度　量
环境影响	不敏感	敏　感
研究水平	家族或系谱	群　体
研究方法	系谱分析、概率论	生物统计

二、数量性状的遗传解释

1、多基因假说的提出

➢1908，瑞典的尼尔逊·埃尔——数量性状遗传的多基因假说：

- 许多对基因共同控制的，各个基因的效应很小；
- 各基因的效应相等；
- 等位基因之间为不完全显性或无显性，表现为增效和减效作用；
- 不同基因的效应是累加的；
- 所有基因独立遗传。

二、数量性状的遗传解释

➢尼尔逊·埃尔实验

在A组中：
1/4红粒：2/4中等红：1/4白粒；

在B组中：1/16深红：4/16次深红：6/16中等红：4/16淡红：1/16白粒；

在C组中：1/64极深红：6/64深红：15/64次深红：20/64中等红：15/64中淡红：6/64淡红：1/64白粒

A组 P 红粒×白粒
↓
F1 红粒
↓×
F2 3/4红粒：1/4白粒

B组 P 红粒×白粒
↓
F1 粉红粒
↓×
F2 15/16红粒：1/16白粒

C组 P 红粒×白粒
↓
F1 粉红粒
↓×
F2 63/64红粒：1/64白粒

二、数量性状的遗传解释

➢2对基因影响小麦籽粒颜色的遗传

P $R_1R_1R_2R_2$(红粒) ×$r_1r_1r_2r_2$（白粒）→F_l $R_1r_1R_2r_2$ (红粒) →自交→F_2					
表现型类　别	红　色				白色
	深红	次深红	中等红	淡红	
表现型比例	1/16	4/16	6/16	1/16	4/16
R基因数目	4R	3R	2R	1R	0R
基　因　型	$1R_1R_1R_2R_2$	$2R_1R_1R_2r_2$ $2R_1r_1R_2R_2$	$1R_1R_1r_2r_2$ $4R_1r_1R_2r_2$ $l\ r_1r_1R_2R_2$	$2\ R_1r_1r_2r_2$ $2r_1r_1R_2r_2$	$l\ r_1r_1r_2r_2$
红粒：白粒	15：1				

二、数量性状的遗传解释

假设含R数目相等的个体表现型一样，得到表现型分配结果为1：4：6：4：1，这个分布的各项系数可由杨辉三角形中得到。

1 1

1对基因 1 2 1

1 3 3 1

2对基因 1 4 6 4 1

1 5 10 10 5 1

3对基因 1 6 15 20 15 6 1

1 7 21 35 35 21 7 1

4对基因 1 8 28 56 70 56 28 8 1

1 9 36 84 126 126 84 36 9 1

5对基因 1 10 45 121 210 252 210 121 45 10 1

图4－2 杨辉三角形图(蓝色为各项系数)

二、数量性状的遗传解释

2、多基因假说的要点和解释

（1）数量性状是许多对微效基因或多基因的联合效应所造成。

（2）多基因中的每一对基因对性状表现型的表现所产生的效应是微小的。

（3）微效基因的效应是相等而且相加的，故又可称为累加基因。

（4）基因之间往往缺乏显性。用大写表示增效，小写表示减效。

（5）微效基因对环境敏感，因而性状容易受环境因素的影响。

（6）多基因往往有多效性，多基因一方面对于某一个数量性状起微效基因的作用，同时在其他性状上可以作为修饰基因。

（7）多基因处在细胞核的染色体上，具有分离、重组、连锁等。

二、数量性状的遗传解释

2、多基因假说的要点和解释

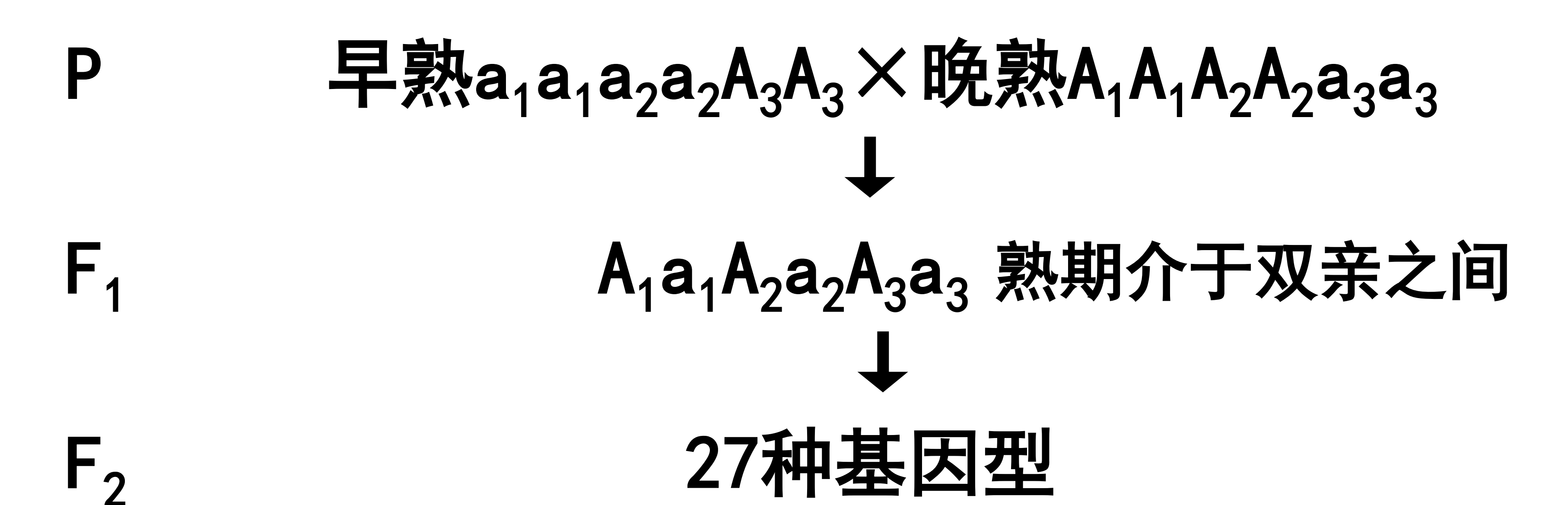
在进行植物杂交时，杂种后代往往出现一种超亲遗传的现象。这个现象可用多基因假说予以解释。

例如，两个水稻品种，一个早熟，一个晚熟，杂种第一代表现为中间型，生育期介于两亲本之间；但其后代可能出现比早熟亲本更早熟，或比晚熟亲本更晚熟的植株。这就是超亲遗传。

二、数量性状的遗传解释

2、多基因假说的要点和解释

在进行植物杂交时，杂种后代往往出现一种超亲遗传的现象。这个现象可用多基因假说予以解释。



其中$A_1A_1A_2A_2A_3A_3$ 比晚熟亲本更晚熟 $a_1a_1a_2a_2a_3a_3$ 比早熟亲本更早熟

二、数量性状的遗传解释

3、质量——数量性状

质量性状

数量性状

质量-数量性状：受少数几对主效基因控制，但另有许多效应很小的基因能够增强或者削弱主效基因对表型的作用。

这一类微效基因在遗传学上称为修饰基因。

几乎所有的性状都是质量—数量性状

三、研究数量性状的基本统计方法

- 对数量性状的研究，一般是采用相应的度量单位进行度量，然后进行统计学分析。

- 最常用的统计参数是：
  平均数（mean）
  方差（variance）
  标准差(standard deviation)。

三、研究数量性状的基本统计方法

1、常用统计参数

（1）平均值

- 表示一组资料的集中性

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \cdots\cdots + x_n}{n} = \frac{\Sigma x}{n}$$

- 通常应用算术平均数

- 是某一性状全部观察值的平均值

$$\bar{x} = \frac{5\times4+6\times21+7\times21+8\times8}{57} = 6.632$$

三、研究数量性状的基本统计方法

1、常用统计参数

（2）方差　又称变量，表示一组资料的分散程度或离中性。

■全部观察值偏离平均数的度量参数。

$$V=\frac{\sum(x_i-\bar{x})^2}{n}$$

■方差愈大，说明平均数的代表性愈小。

$$V=\frac{\sum(x_i-\bar{x})^2}{n-1}$$

■计算方法：先求出全部资料中每一个观察值与平均数的离差的平方的总和，再除以观察值个数。

$$V=\frac{\sum x_i^2-\frac{1}{n}\left(\sum x\right)^2}{n}$$

三、研究数量性状的基本统计方法

1、常用统计参数

（3）标准差　方差的平方根值

■方差和标准差是全部观察值偏离平均数的重要度量参数

$$s = \sqrt{V} = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum x\right)^2}{n}}$$

三、研究数量性状的基本统计方法

2、表现型值

- **对个体某个性状度量或观察到的数值。**

如：某玉米的穗长10cm

某水稻穗上有300粒稻谷

- 表现型值，P。
- 其中有基因型所决定的部分，称为基因型值，G。
- 表现型值与基因型值之差就是环境条件引起的变异，称为环境离差，E。

$$P = G + E$$

- **这就是数量性状的基本数学模型**

三、研究数量性状的基本统计方法

3、基因型值

- ❖ **加性效应 (additve effect)，A**
- ❖ **显性效应（dominance effect），D**
- ❖ **上位性效应（epistasis effect），I**

A: ❖ 基因座位内等位基因之间 以及非等位基因之间的累加效应

❖ 是上下代遗传中可以固定的遗传分量

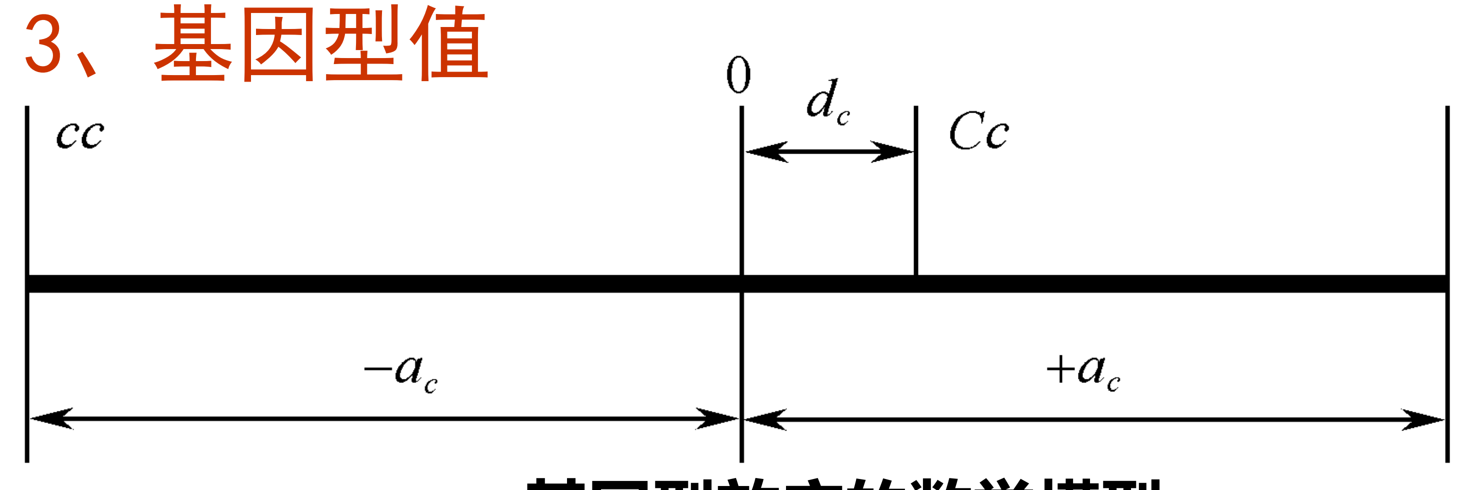
D: ❖基因座位内等位基因之间的互作效应。不能在世代间固定

❖ 与基因型有关，随着基因在不同世代中的分离与重组，基因间的关系（基因型）会发生变化，显性效应会逐代减小。

I: ❖非等位基因之间的相互作用对基因型值产生的效应。 非加性效应。

三、研究数量性状的基本统计方法

3、基因型值



基因型效应的数学模型

小鼠6周龄体重（平均值）

基因型	PP	Pp	pp
体重(g)	15	12	6

- 中亲值（m）＝（CC＋cc）/2，定为0
- 各基因型值与中亲值的差就是相应的基因型效应
- a_c为加性效应，表示CC和cc基因型值与中亲值之差
- d_c为显性效应，表示Cc基因型值与中亲值之差
- $d_c=0$，无显性；$d_c>0$，有显性效应；$d_c<0$，表示c基因为显性；$d_c=a_c$，完全显性；$d_c>a_c$，超显性

m＝（15＋6）/2＝10.5g，

a＝15－10.5＝4.5g

d＝12－10.5＝1.5g

三、研究数量性状的基本统计方法

3、基因型值

- **同理，对于等位基因E、e，也有3种基因型：EE、Ee、ee**

- **3种基因型的效应值分别为EE（a_e）、Ee（d_e）、ee（$-a_e$）**

- **涉及多对基因时，基因型值为：**

ccEERR $-a_c + a_e + a_r$

CCEeRr $a_c + d_e + d_r$

CcEeddRRTt $d_c + d_e - a_d + a_r + d_t$

三、研究数量性状的基本统计方法

3、基因型值

加性 - 显性遗传模型

- 如果涉及k对基因

$$A=[a]=\sum a_{+}-\sum a_{-}$$

$$D=[d]=\sum d$$

- 基因型值是各种基因效应值的总和

$$G=A+D$$

$$P=A+D+E$$

三、研究数量性状的基本统计方法

3、基因型值

加性 - 显性-上位性遗传模型

- 对于某些性状，不同基因座位上的基因还可能存在互作效应，即上位性效应。
- 基因型值包括加性效应、显性效应和上位性效应

$$G = A + D + I$$

$$P = A + D + I + E$$

- 但是，上位性效应较难分析。 初学者使用的模型是

$$V_P = V_A + V_D + V_E$$

三、研究数量性状的基本统计方法

4、估算各项方差值

❖现以$\overline{P}=\overline{G}+\overline{E}$ 表示三者的平均数，则各项的方差可以推算如下.

$\sum\left(P-\overline{P}\right)^2$ **表型离均差平方和**

$\sum\left(G-\overline{G}\right)^2$ **基因型离均差平方和**

$\sum\left(E-\overline{E}\right)^2$ **环境影响造成的离均差平方和**

$\sum\left(G-\overline{G}\right)\left(E-\overline{E}\right)$ **基因型与环境条件的互作效应**

$$\sum\left(P-\overline{P}\right)^2$$

$$=\sum\left[\left(G+E\right)-\left(\overline{G}+\overline{E}\right)\right]^2$$

$$=\sum\left[\left(G-\overline{G}\right)+\left(E-\overline{E}\right)\right]^2$$

$$=\sum\left(G-\overline{G}\right)^2+2\sum\left(G-\overline{G}\right)\left(E-\overline{E}\right)+\sum\left(E-\overline{E}\right)^2$$

三、研究数量性状的基本统计方法

4、估算各项方差值

$\sum\left(P-\overline{P}\right)^2$ **表型离均差平方和**

$\sum\left(G-\overline{G}\right)^2$ **基因型离均差平方和**

$\sum\left(E-\overline{E}\right)^2$ **环境影响造成的离均差平方和**

$\sum\left(G-\overline{G}\right)\left(E-\overline{E}\right)$ **基因型与环境条件的互作效应**

$\sum\left(G-\overline{G}\right)\left(E-\overline{E}\right)=0$ 表示若基因型与环境之间没有互作。

$$\sum\left(P-\overline{P}\right)^2=\sum\left(G-\overline{G}\right)^2+\sum\left(E-\overline{E}\right)^2$$

则表型离差平方和等于基因型离差平方和加环境引起的离差平方和。

三、研究数量性状的基本统计方法

4、估算各项方差值

$$\frac{\sum(P-\overline{P})^2}{n}=\frac{\sum(G-\overline{G})^2}{n}+\frac{\sum(E-\overline{E})^2}{n}$$

$$V_P=V_G+V_E$$

V_P：表现型方差

V_G：基因型方差

V_E：环境方差

上式两边都除以n或n-1：

$$V_P=\frac{\sum(P-\overline{P})^2}{n}$$

$$V_G=\frac{\sum(G-\overline{G})^2}{n}$$

$$V_E=\frac{\sum(E-\overline{E})^2}{n}$$

基因型方差是群体内个体间基因型差异引起的变异量。 $V_G=V_A+V_D+V_I$

四、遗传力的估算及其应用

1、遗传率

- 表现型是基因型和环境条件共同作用的结果。
- 具有相对性状的两个亲本杂交，后代的性状表现型值的差异取决于两方面的因素，一是基因的分离造成的，一是环境条件的影响造成的。

- 遗传率：在一个群体中，遗传方差在总方差（表现型方差）中所占的比值。

$$H_B^2 = \frac{\text{遗传方差}}{\text{总方差}} \times 100\% = \frac{V_G}{V_G + V_E} \times 100\%$$

四、遗传力的估算及其应用

2、遗传率的意义

遗传率衡量遗传因素和环境条件对所研究的性状的表型总变异所起作用的相对重要性。

遗传力又称为遗传决定度。

- 某性状H_b^2＝70%，表示在后代的总变异（总方差）中，70%是由基因型差异造成的，30%是由环境条件影响所造成的。
- H_b^2=20%，说明环境条件对该性状的影响占80%，而遗传因素所起的作用很小。在这样的群体中选择，效果一定很差。
- 遗传率大的性状，选择效果好；遗传力小的性状，选择效果差。

四、遗传力的估算及其应用

2、遗传率的意义

注意点： 遗传率不是性状传递的能力!

- 遗传率是度量变异的参数
- 纯系品种的遗传率为0

- 遗传率是一个统计学概念，是针对群体的而不适用于个体。
- 例如人类身高的遗传率是0.5（50%），并不是说某一个人的身高一半是由遗传控制的，另一半是由环境决定的，而只是说，在人群中，身高的总变异中，1/2与遗传差异有关，1/2与环境的差异有关，或者说，群体中各个人身高的变异，50%是由其个体间的遗传差异造成的。

四、遗传力的估算及其应用

3、遗传力的意义

注意点：

➢遗传力是对特定群体特定性状而言的，是某一群体的遗传变异和环境变异在表现变异中所占的相对比例。所以，若遗传基础改变了，或环境条件改变了，遗传力自然也随之改变。

➢ 估算同一群体在两个不同环境中的遗传力或者测定两个群体在同一环境中的遗传力，或者同一群体的两个不同的性状的遗传力，其结果都有可能是不同的。

四、遗传力的估算及其应用

4、遗传力在育种上的应用

- 性状的表现（表现型）是基因型和环境共同作用的结果，但对某一具体性状而言，了解它的遗传作用和环境影响在其表现中各占多大的比重，对于育种家关系极大。
- 一般地说，遗传率高的性状，容易选择，遗传率低的性状，选择的效果较小。
- 遗传率高的性状，在杂种的早期世代选择，收效较好。而遗传率较低的性状，则应在杂种后期世代选择才能收到较好的效果。

四、遗传力的估算及其应用

4、遗传力在育种上的应用

- 某性状的基因型方差在总方差中所占的比重越大，则群体的变异由遗传作用引起的影响较大，环境对它的影响较小；在下一代群体中就会得到相应的表现；因而在该群体内选择是有效的。
- 反之，当性状的变异主要由环境的影响引起的，则遗传的可能性较小，在下一代群体中就不容易得到相应的表现，因而在该群体内进行选择所得效果就很低。

四、遗传力的估算及其应用

4、遗传力在育种上的应用

遗传率在育种上的应用，有以下几条规律：

- 不易受环境影响的性状的遗传率比较高，易受环境影响的性状则较低。
- 变异系数小的性状的遗传率高，变异系数大的则较低。
- 质量性状一般比数量性状有较高的遗传率。
- 亲本生长正常，对环境反应不灵敏的性状的遗传率较高。
- 性状差距大的两个亲本的杂种后代，一般表现较高的遗传率。
- 遗传率并不是一个固定数值，对自花授粉植物来说，它因杂种世代推移而有逐渐升高的趋势。